

ISSN 2518-1483 (Online),
ISSN 2224-5227 (Print)

2024 • 2



ҚАЙЫРЫМДЫЛЫҚ ҚОРЫ

HALYK

CHARITY FOUNDATION

«ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫ» РҚБ
«ХАЛЫҚ» ЖҚ

БАЯНДАМАЛАРЫ

ДОКЛАДЫ

РОО «НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН»
ЧФ «ХАЛЫҚ»

REPORTS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
«Halyk» Private Foundation

PUBLISHED SINCE JANUARY 1944

ALMATY, NAS RK



ЧФ «ХАЛЫҚ»

В 2016 году для развития и улучшения качества жизни казахстанцев был создан частный Благотворительный фонд «Халык». За годы своей деятельности на реализацию благотворительных проектов в областях образования и науки, социальной защиты, культуры, здравоохранения и спорта, Фонд выделил более 45 миллиардов тенге.

Особое внимание Благотворительный фонд «Халык» уделяет образовательным программам, считая это направление одним из ключевых в своей деятельности. Оказывая поддержку отечественному образованию, Фонд вносит свой посильный вклад в развитие качественного образования в Казахстане. Тем самым способствуя росту числа людей, способных менять жизнь в стране к лучшему – профессионалов в различных сферах, потенциальных лидеров и «великих умов». Одной из значимых инициатив фонда «Халык» в образовательной сфере стал проект *Ozgeris powered by Halyk Fund* – первый в стране бизнес-инкубатор для учащихся 9-11 классов, который помогает развивать необходимые в современном мире предпринимательские навыки. Так, на содействие малому бизнесу школьников было выделено более 200 грантов. Для поддержки талантливых и мотивированных детей Фонд неоднократно выделял гранты на обучение в Международной школе «Мирас» и в *Astana IT University*, а также помог казахстанским школьникам принять участие в престижном конкурсе «*USTEM Robotics*» в США. Авторские работы в рамках проекта «Тәлімгер», которому Фонд оказал поддержку, легли в основу учебной программы, учебников и учебно-методических книг по предмету «Основы предпринимательства и бизнеса», преподаваемого в 10-11 классах казахстанских школ и колледжей.

Помимо помощи школьникам, учащимся колледжей и студентам Фонд считает важным внести свой вклад в повышение квалификации педагогов, совершенствование их знаний и навыков, поскольку именно они являются проводниками знаний будущих поколений казахстанцев. При поддержке Фонда «Халык» в южной столице был организован ежегодный городской конкурс педагогов «*Almaty Digital Ustaz*».

Важной инициативой стал реализуемый проект по обучению основам финансовой грамотности преподавателей из восьми областей Казахстана, что должно оказать существенное влияние на воспитание финансовой грамотности и предпринимательского мышления у нового поколения граждан страны.

Необходимую помощь Фонд «Халык» оказывает и тем, кто особенно остро в ней нуждается. В рамках социальной защиты населения активно проводится работа по поддержке детей, оставшихся без родителей, детей и взрослых из социально уязвимых слоев населения, людей с ограниченными возможностями, а также обеспечению нуждающихся социальным жильем, строительству социально важных объектов, таких как детские сады, детские площадки и физкультурно-оздоровительные комплексы.

В копилку добрых дел Фонда «Халык» можно добавить оказание помощи детскому спорту, куда относится поддержка в развитии детского футбола и карате в нашей стране. Жизненно важную помощь Благотворительный фонд «Халык» оказал нашим соотечественникам во время недавней пандемии COVID-19. Тогда, в разгар тяжелой борьбы с коронавирусной инфекцией Фонд выделил свыше 11 миллиардов тенге на приобретение необходимого медицинского оборудования и дорогостоящих медицинских препаратов, автомобилей скорой медицинской помощи и средств защиты, адресную материальную помощь социально уязвимым слоям населения и денежные выплаты медицинским работникам.

В 2023 году наряду с другими проектами, нацеленными на повышение благосостояния казахстанских граждан Фонд решил уделить особое внимание науке, поскольку она является частью общественной культуры, а уровень ее развития определяет уровень развития государства.

Поддержка Фондом выпуска журналов Национальной Академии наук Республики Казахстан, которые входят в международные фонды Scopus и Wos и в которых публикуются статьи отечественных ученых, докторантов и магистрантов, а также научных сотрудников высших учебных заведений и научно-исследовательских институтов нашей страны является не менее значимым вкладом Фонда в развитие казахстанского общества.

**С уважением,
Благотворительный Фонд «Халык»!**

БАС РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан Республикасы Президенті Іс Басқармасы Медициналық орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 11

РЕДАКЦИЈАЛЫҚ АЛҚА:

РАМАЗАНОВ Тілекқабил Сәбитұлы, (бас редактордың орынбасары), физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 26

РАМАНҚҰЛОВ Ерлан Мирхайдарұлы, (бас редактордың орынбасары), профессор, ҚР ҰҒА корреспондент-мүшесі, Ph.D биохимия және молекулалық генетика саласы бойынша Ұлттық биотехнология орталығының бас директоры (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, Ph.D (биохимия, агрохимия), профессор, Корей биоғылым және биотехнология ғылыми-зерттеу институты (KRIBB), өсімдіктердің инженерлік жүйелері ғылыми-зерттеу орталығының бас ғылыми қызметкері, (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСІМБАЕВ Рахметқажы Ескендірұлы, биология ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилев (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 12

ӘБИЕВ Руфат, техника ғылымдарының докторы (биохимия), профессор, Санкт-Петербург мемлекеттік технологиялық институты «Химиялық және биотехнологиялық аппаратураны онтайландыру» кафедрасының меңгерушісі, (Санкт-Петербург, Ресей), Н = 14

ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович, медицина ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, «PERSONA» халықаралық клиникалық репродуктология орталығының директоры (Алматы, Қазақстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, биология ғылымдарының докторы, профессор, Чуваш республикасының еңбек сіңірген ғылым қайраткері, «Чуваш мемлекеттік аграрлық университеті» Федералдық мемлекеттік бюджеттік жоғары білім беру мекемесі Акушерлік және терапия кафедрасының меңгерушісі, (Чебоксары, Ресей), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, Хамдар аль-Маджида Хамдар университетінің шығыс медицина факультеті, Шығыс медицинасы колледжінің профессоры, (Карачи, Пәкістан), Н = 21

ЩЕПЕТКИН Игорь Александрович, медицина ғылымдарының докторы, Монтана штаты университетінің профессоры (Монтана, АҚШ), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, Ph.D (физика), нанокұрылымды материалдарды зерттеу институтының профессоры (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, фармацевтика ғылымдарының докторы, профессор, Люблин медицина университетінің фармацевтика факультетінің деканы (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМҰҚАНОВ Дастан Асылбекұлы, ауыл шаруашылығы ғылымдарының докторы, ҚР ҰҒА корреспондент мүшесі, "Мал шаруашылығы және ветеринария ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС мал шаруашылығы және ветеринарлық медицина департаментінің бас ғылыми қызметкері (Нұр-Сұлтан, Қазақстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, академик, Молдова Ғылым Академиясының президенті, Молдова техникалық университеті (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Мақсат Нұрәліұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі (Алматы, Қазақстан), Н = 7

БОШКАЕВ Қуантай Авғазыұлы, Ph.D. Теориялық және ядролық физика кафедрасының доценті, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

QUEVEDO Hernando, профессор, Ядролық ғылымдар институты (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСНОВ Марат Абжанұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, теориялық және ядролық физика кафедрасының профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, физика-математика ғылымдарының докторы, Украина ҰҒА академигі, Қолданбалы математика және механика институты (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нұрғали Жабағаұлы, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, Қазақстан-Британ техникалық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Асқар Ербуланович, физика-математика ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰҒА академигі, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті (Алматы, Қазақстан), Н = 12

«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының баяндамалары»

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Меншіктеуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы» Республикалық қоғамдық бірлестігі (Алматы қ.). Қазақстан Республикасының Ақпарат және қоғамдық даму министрлігінің Ақпарат комитетінде 29.07.2020 ж. берілген № КЗ93VPY00025418 мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік.

Тақырыптық бағыты: *өсімдік шаруашылығы, экология және медицина саласындағы биотехнология және физика ғылымдары.*

Мерзімділігі: жылына 4 рет. Тиражы: 300 дана.

Редакцияның мекен-жайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28; 219 бөл.; тел.: 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР:

БЕНБЕРИН Валерий Васильевич, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Медицинского центра Управления делами Президента Республики Казахстан (Алматы, Казахстан), Н = 11

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

РАМАЗАНОВ Тлеккабул Сабитович, (заместитель главного редактора), доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 26

РАМАНКУЛОВ Ерлан Мирхайдарвич, (заместитель главного редактора), профессор, член-корреспондент НАН РК, Ph.D в области биохимии и молекулярной генетики, Генеральный директор Национального центра биотехнологии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 23

САНГ-СУ Квак, доктор философии (Ph.D, биохимия, агрохимия), профессор, главный научный сотрудник, Научно-исследовательский центр инженерных систем растений, Корейский научно-исследовательский институт бионауки и биотехнологии (KRIBB), (Дэчон, Корея), Н = 34

БЕРСИМБАЕВ Рахметкажи Искендерович, доктор биологических наук, профессор, академик НАН РК, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева (Нур-Султан, Казахстан), Н = 12

АБНЕВ Руфат, доктор технических наук (биохимия), профессор, заведующий кафедрой «Оптимизация химической и биотехнологической аппаратуры», Санкт-Петербургский государственный технологический институт (Санкт-Петербург, Россия), Н = 14

ЛЮКШИН Вячеслав Нотанович, доктор медицинских наук, профессор, академик НАН РК, директор Международного клинического центра репродуктологии «PERSONA» (Алматы, Казахстан), Н = 8

СЕМЕНОВ Владимир Григорьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки Чувашской Республики, заведующий кафедрой морфологии, акушерства и терапии, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Чувашский государственный аграрный университет» (Чебоксары, Чувашская Республика, Россия), Н = 23

ФАРУК Асана Дар, профессор Колледжа восточной медицины Хамдарда аль-Маджида, факультет восточной медицины Университета Хамдарда (Карачи, Пакистан), Н = 21

ЦЕПЕТКИН Игорь Александрович, доктор медицинских наук, профессор Университета штата Монтана (США), Н = 27

КАЛАНДРА Пьетро, доктор философии (Ph.D, физика), профессор Института по изучению наноструктурированных материалов (Рим, Италия), Н = 26

МАЛЫМ Анна, доктор фармацевтических наук, профессор, декан фармацевтического факультета Люблинского медицинского университета (Люблин, Польша), Н = 22

БАЙМУКАНОВ Дастанбек Асылбекович, доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент НАН РК, главный научный сотрудник Департамента животноводства и ветеринарии (Нур-Султан, Казахстан), Н = 1

ТИГИНЯНУ Ион Михайлович, доктор физико-математических наук, академик, президент Академии наук Молдовы, Технический университет Молдовы (Кишинев, Молдова), Н = 42

КАЛИМОЛДАЕВ Максат Нурадилович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК (Алматы, Казахстан), Н = 7

БОШКАЕВ Куантай Авгазыевич, доктор Ph.D, преподаватель, доцент кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 10

QUEVEDO Hemando, профессор, Национальный автономный университет Мексики (UNAM), Институт ядерных наук (Мехико, Мексика), Н = 28

ЖУСУПОВ Марат Абжанович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической и ядерной физики, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 7

КОВАЛЕВ Александр Михайлович, доктор физико-математических наук, академик НАН Украины, Институт прикладной математики и механики (Донецк, Украина), Н = 5

ТАКИБАЕВ Нургали Жаббаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 5

ХАРИН Станислав Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахстано-Британский технический университет (Алматы, Казахстан), Н = 10

ДАВЛЕТОВ Аскар Ербуланович, доктор физико-математических наук, профессор, академик НАН РК, Казахский национальный университет им. аль-Фараби (Алматы, Казахстан), Н = 12

Доклады Национальной академии наук Республики Казахстан»

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы). Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации Министерства информации и общественного развития Республики Казахстан № **KZ93VPY00025418**, выданное 29.07.2020 г.

Тематическая направленность: *биотехнология в области растениеводства, экологии, медицины и физические науки.*

Периодичность: 4 раз в год. Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28; ком. 219; тел. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

EDITOR IN CHIEF:

BENBERIN Valery Vasilievich, Doctor of Medicine, Professor, Academician of NAS RK, Director of the Medical Center of the Presidential Property Management Department of the Republic of Kazakhstan (Almaty, Kazakhstan), H = 11

EDITORIAL BOARD:

RAMAZANOV Tlekkabul Sabitovich, (Deputy Editor-in-Chief), Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 26

RAMANKULOVA Erlan Mirkhaidarovich, (Deputy Editor-in-Chief), Professor, Corresponding Member of NAS RK, Ph.D in the field of biochemistry and molecular genetics, General Director of the National Center for Biotechnology (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 23

SANG-SOO Kwak, PhD in Biochemistry, Agrochemistry, Professor, Chief Researcher, Plant Engineering Systems Research Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology (KRIBB), (Daecheon, Korea), H = 34

BERSIMBAEV Rakhmetkazhi Iskendirovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician of NAS RK, L.N. Gumilyov Eurasian National University (Nur-Sultan, Kazakhstan), H = 12

ABIYEV Rufat, Doctor of Technical Sciences (Biochemistry), Professor, Head of the Department of Optimization of Chemical and Biotechnological Equipment, St. Petersburg State Technological Institute (St. Petersburg, Russia), H = 14

LOKSHIN Vyacheslav Notanovich, Professor, Academician of NAS RK, Director of the PERSONA International Clinical Center for Reproductology (Almaty, Kazakhstan), H = 8

SEMENOV Vladimir Grigorievich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Honored Scientist of the Chuvash Republic, Head of the Department of Morphology, Obstetrics and Therapy, Chuvash State Agrarian University (Cheboksary, Chuvash Republic, Russia), H = 23

PHARUK Asana Dar, professor at Hamdard al-Majid College of Oriental Medicine. Faculty of Oriental Medicine, Hamdard University (Karachi, Pakistan), H = 21

TSHEPETKIN Igor Aleksandrovich, Doctor of Medical Sciences, Professor at the University of Montana (Montana, USA), H = 27

CALANDRA Pietro, PhD in Physics, Professor at the Institute of Nanostructured Materials (Monterotondo Station Rome, Italy), H = 26

MALM Anna, Doctor of Pharmacy, Professor, Dean of the Faculty of Pharmacy, Lublin Medical University (Lublin, Poland), H = 22

BAIMUKANOV Dastanbek Asylbekovich, Doctor of Agricultural Sciences, Corresponding Member of the NAS RK, Chief Researcher of the department of animal husbandry and veterinary medicine, Research and Production Center for Livestock and Veterinary Medicine Limited Liability Company (Nur-Sultan, Kazakhstan), H=1

TIGHINEANU Ion Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician, Full Member of the Academy of Sciences of Moldova, President of the AS of Moldova, Technical University of Moldova (Chisinau, Moldova), H = 42

KALIMOLDAYEV Maksat Nuradilovich, doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK (Almaty, Kazakhstan), H = 7

BOSHKAYEV Kuantai Avgazievich, PhD, Lecturer, Associate Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

QUEVEDO Hemando, Professor, National Autonomous University of Mexico (UNAM), Institute of Nuclear Sciences (Mexico City, Mexico), H = 28

ZHUSSUPOV Marat Abzhanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor of the Department of Theoretical and Nuclear Physics, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 7

KOVALEV Alexander Mikhailovich, Doctor in Physics and Mathematics, Academician of NAS of Ukraine, Director of the State Institution «Institute of Applied Mathematics and Mechanics» DPR (Donetsk, Ukraine), H = 5

TAKIBAYEV Nurgali Zhabagaevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 5

KHARIN Stanislav Nikolayevich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, Kazakh-British Technical University (Almaty, Kazakhstan), H = 10

DAVLETOV Askar Erbulanovich, Doctor in Physics and Mathematics, Professor, Academician of NAS RK, al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan), H = 12

Reports of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

Owner: RPA «National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan» (Almaty). The certificate of registration of a periodical printed publication in the Committee of information of the Ministry of Information and Social Development of the Republic of Kazakhstan No. **KZ93VPY00025418**, issued 29.07.2020.

Thematic scope: *biotechnology in the field of crop research, ecology and medicine and physical sciences.*

Periodicity: 4 times a year. Circulation: 300 copies.

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, Almaty, 050010, tel. 272-13-19

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC
OF KAZAKHSTAN
ISSN 2224-5227

Volume 2. Number 350 (2024), 84–94
<https://doi.org/10.32014/2024.2518-1483.280>

UDC 524.82; 524.83; 524.85

© Y. Myrzakulov*, A. Bulanbayeva, 2024

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: ymyrzakulov@gmail.com.

A REGULAR BLACK HOLE SOLUTIONS AND THEIR THERMODYNAMICS

Myrzakulov Yerlan — PhD in Physics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
E-mail: ymyrzakulov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0160-0422>;

Bulanbayeva Arailym — Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
E-mail: arai_bul@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6541-3902>.

Abstract. Black holes are intriguing objects in astrophysics and theoretical physics, with their enigmatic nature posing significant challenges to our understanding of the universe. Black holes are a natural consequence of the complete gravitational collapse of matter, and there is now a wealth of observational evidence supporting the existence of black holes in the Universe. However, general relativity predicts the existence of a space-time singularity at the center of a black hole, where predictability is lost and standard physics fails. It is widely believed that the spacetime singularity is a symptom of the limitations of general relativity and must be solved within the framework of the quantum theory of gravity. Since there are no mature and reliable candidates for a quantum theory of gravity yet, researchers are exploring the still unknown possibilities of a quantum theory of gravity by exploring models of black holes without singularity and models of gravitational collapse without singularity. In this study, we explore regular solutions of black holes, which deviate from the conventional Schwarzschild paradigm. These regular solutions offer insights into the fundamental properties of black holes beyond the classical framework. One key aspect of our investigation is the thermodynamic behavior of these regular black hole solutions. By analyzing the thermodynamic quantities associated with these solutions, including mass and temperature, we uncover unique characteristics that distinguish them from their Schwarzschild counterparts. Understanding the thermodynamics of regular black holes is essential for unraveling the intricate interplay between gravity and quantum mechanics at extreme scales. Our study reveals that regular black hole solutions exhibit distinctive thermodynamic features compared to Schwarzschild black holes. Notably, the presence of an additional horizon in regular black holes alters their thermodynamic properties, leading to novel phenomena such as phase transitions and critical behavior. Through detailed analyses, we shed light on the underlying mechanisms governing the thermodynamics of regular black holes. Furthermore, we investigate the stability of regular black holes by examining their heat capacity. Our findings indicate intriguing correlations between heat capacity, temperature, and the presence of multiple horizons. We observe that regular black holes undergo phase transitions from stable to unstable states, providing valuable insights into

their dynamical behavior and evolutionary processes. The implications of our research extend beyond theoretical physics, impacting diverse fields ranging from cosmology to quantum gravity. By elucidating the thermodynamic characteristics and stability properties of regular black holes, we contribute to a deeper understanding of the nature of spacetime and the fundamental laws governing the universe. Our findings pave the way for future investigations into the rich phenomenology of black hole physics and its broader implications for our understanding of the cosmos.

Keywords: Regular black holes, thermodynamics, Schwarzschild solution, quantum corrections, two horizons, Hawking temperature

Acknowledgments. *This research has been funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP22682760).*

© **Е.М. Мырзақулов***, **А.С. Бұланбаева**, 2024

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан.

E-mail: ymyrzakulov@gmail.com

ҚАРА ҚҰРДЫМ ШЕШІМДЕРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ

Мырзақулов Ерлан Муратбаевич — PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ жалпы және теориялық физика кафедрасының аға оқытушысы, Астана, Қазақстан

E-mail: ymyrzakulov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0160-0422>;

Бұланбаева Арайлым Саятқызы — Магистрант, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ жалпы және теориялық физика кафедрасы, Астана, Қазақстан

E-mail: arai_bul@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6541-3902>.

Аннотация. Қара құрдымдар — астрофизика мен теориялық физикадағы қызықты объекттер, олардың жұмбақ табиғаты біздің Ғаламды түсінуімізге айтарлықтай қиындықтар туғызады. Қара құрдымдар материяның толық гравитациялық күйреуінің салдары болып табылады және қазіргі таңда Ғаламдағы қара құрдымдардың бар екенін растайтын көптеген бақылау дәлелдері бар. Алайда, жалпы салыстырмалылық теориясы қара құрдымның ортасында кеңістіктік-уақыттық сингулярлықтың болуын болжайды және классикалық физика жұмыс істемейді. Кеңістіктік-уақыттық сингулярлық жалпы салыстырмалылықтың шектелуінің салдары болып табылады. Оны кванттық гравитациялық теория шеңберінде шешу керек деген пікір кең таралған. Кванттық гравитация теориясын құруға әлі жетілген және сенімді қара құрдымдар болмағандықтан, зерттеушілер кванттық гравитация теориясының әлі белгісіз мүмкіндіктерін сингулярлықсыз қара құрдым модельдерін зерттеу арқылы анықтайды. Бұл зерттеуде Шварцшильд шешімінен ауытқыған қара құрдымдардың тұрақты шешімдерін зерттейміз. Бұл тұрақты шешімдер классикалық шеңберден тыс қара құрдымдардың негізгі қасиеттері туралы түсінік береді. Зерттеуіміздің негізгі аспектілерінің бірі — бұл қарапайым қара құрдым шешімдерінің термодинамикалық әрекеті. Масса мен температураға байланысты термодинамикалық шамаларды талдау арқылы біз оларды Шварцшильд метрикасынан ерекшелендіретін бірегей сипаттамаларды ашамыз. Қара құрдымдардың термодинамикасын түсіну гравитациялық күші мен кванттық механика арасындағы күрделі өзара әрекетті шешу үшін өте маңызды.

Біздің зерттеуіміз қара құрдым шешімдерінің Шварцшильд қара құрдымдарымен салыстырғанда ерекше термодинамикалық ерекшеліктерді көрсететінін көрсетеді. Атап айтқанда, қара құрдымдарда қосымша көкжиектің болуы олардың термодинамикалық қасиеттерін өзгертеді, бұл фазалық ауысулар жаңа құбылыстарға әкеледі. Талдаулар арқылы біз тұрақты қара құрдымдардың термодинамикасын басқаратын негізгі механизмдерге жарық түсіреміз. Сонымен қатар, біз тұрақты қара құрдымдардың тұрақтылығын олардың жылу сыйымдылығын зерттеу арқылы зерттейміз. Біз тұрақты қара құрдымдардың тұрақты күйден тұрақсыз күйге фазалық ауысулардан өтетінін байқаймыз, бұл олардың динамикалық мен эволюциялық процестері туралы құнды түсініктер береді. Біздің зерттеуіміздің салдары теориялық физиканың шеңберінен шығып, космологиядан кванттық гравитацияға дейінгі әртүрлі салаларға әсер етеді. Қарапайым қара құрдымдардың термодинамикалық сипаттамалары мен тұрақтылық қасиеттерін түсіндіре отырып, біз ғарыштық уақыттың табиғатын және ғаламды басқаратын іргелі заңдарды тереңірек түсінуге үлес қосамыз. Біздің қорытындыларымыз болашақта қара құрдым физикасының бай феноменологиясы мен оның ғарышты түсінудегі кеңірек әсерлерін зерттеуге жол ашады.

Түйін сөздер: Тұрақты қара құрдымдар, термодинамика, Шварцшильд шешімі, кванттық түзетулер, екі горизонт, Хокинг температурасы

Алғыс. Ғылыми жұмысқа Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті (грант № AP22682760) қаржылай қолдау көрсетті.

© Е.М. Мырзакулов*, А.С. Буланбаева, 2024

Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

E-mail: ymyrzakulov@gmail.com

РЕШЕНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ И ИХ ТЕРМОДИНАМИКА

Мырзакулов Ерлан Муратбаевич — PhD, старший преподаватель кафедры общей и теоретической физики ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail: ymyrzakulov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0160-0422>;

Буланбаева Арайлым Саятқызы — магистрант кафедры общей и теоретической физики ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail: arai_bul@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6541-3902>.

Аннотация. Черные дыры представляют собой увлекательные объекты в астрофизике и теоретической физике, их загадочная природа создает значительные вызовы для нашего понимания Вселенной. Черные дыры являются естественным следствием полного гравитационного коллапса материи, и сегодня существует множество наблюдательных доказательств, подтверждающих существование черных дыр во Вселенной. Однако общая теория относительности предсказывает существование пространственно-временной сингулярности в центре черной дыры, где предсказуемость теряется и стандартная физика не работает. Широко распространено мнение, что пространственно-временная сингулярность является симптомом ограниченности общей теории относительности и должна быть решена в рамках квантовой теории гравитации. Поскольку пока не существует зрелых и

надежных кандидатов на создание квантовой теории гравитации, исследователи изучают все еще неизвестные возможности квантовой теории гравитации, исследуя модели черных дыр без сингулярности и модели гравитационного коллапса без сингулярности. В данном исследовании исследуем решения регулярных черных дыр, отклоняющиеся от классической парадигмы Шварцшильда. Эти решения предоставляют уникальные исследования основных свойств черных дыр за пределами классической модели. Одним из ключевых аспектов нашего исследования является термодинамическое поведение этих регулярных черных дыр. Анализируя термодинамические величины, связанные с этими решениями, такие как масса и температура показаны уникальные характеристики, отличающие их от классических черных дыр Шварцшильда. Понимание термодинамики регулярных черных дыр необходимо для раскрытия сложного взаимодействия между гравитацией и квантовой механикой на крайне малых масштабах. Исследование показывает, что решения регулярных черных дыр обладают характерными термодинамическими особенностями по сравнению с черными дырами Шварцшильда. Особенно наличие дополнительного горизонта в регулярных черных дырах изменяет их термодинамические свойства, приводя к новым явлениям, таким как фазовые переходы и критическое поведение. С помощью детального анализа показаны механизмы, определяющие термодинамику регулярных черных дыр. Более того, исследуем стабильность регулярных черных дыр, рассматривая их теплоемкость. Результаты указывают на увлекательные взаимосвязи между теплоемкостью, температурой и наличием нескольких горизонтов. Мы наблюдаем, что регулярные черные дыры проходят фазовые переходы от стабильного к нестабильному состоянию, предоставляя ценные сведения о их динамическом поведении и эволюционных процессах. Выводы исследования выходят за пределы теоретической физики, оказывая воздействие на различные области от космологии до квантовой гравитации. Раскрывая термодинамические особенности и свойства стабильности регулярных черных дыр, вносим вклад в глубокое понимание природы пространства-времени и фундаментальных законов, управляющих Вселенной. Результаты открывают путь для будущих исследований в области богатой феноменологии черных дыр и ее более широких последствий для нашего понимания космоса.

Ключевые слова: регулярные черные дыры, термодинамика, решение Шварцшильда, квантовые поправки, два горизонта, температура Хокинга

Благодарности. Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP22682760).

Введение

Бардин (Bardeen, 1968) представил первую модель обычной черной дыры, основанную на концепциях Сахарова и Глинера (Sakharov, 1966; Gliner, 1966) Эти черные дыры обладают горизонтом, но лишены центральной сингулярности. Это точное решение для черных дыр возникает при сочетании гравитации с нелинейным полем материи, и это первое исследование Айона, Беато и Гарсии (Ayon-Beato et al., 1999; Ayon-Beato et al., 2005; Ayon-Beato et al., 2000) после 30 лет использования модели Бардина. На текущий момент существует множество решений для обычных черных дыр, однако большинство из них опираются на

предложение Бардина (Bronnikov, 2001; Zaslavskii, 2009; Lemos et al., 2011; Balart et al., 2014; Balart et al., 2014; Xiang et al., 2013; Singh et al., 2017; Fernando, 2017). Обобщения обычных черных дыр в Эйнштейн-Гаусс-Бонне гравитации (ЭГБ гравитация) (Kumar et al., 2019; Kumar et al., 2020; Ghosh et al., 2018; Ghosh et al., 2020), 4 мерный ЭГБ гравитации (Ghosh et al., 2021; Singh et al., 2020; Singh et al., 2020), массивной гравитации (Singh et al., 2020), а также их вращающиеся аналоги с использованием алгоритма Ньюмана-Яниса (Bambi et al., 2013; Ghosh, 2015), а также другие вращающиеся черные дыры представлены в (Toshmatov et al., 2014; Ghosh et al., 2015; Neves et al., 2014). Термодинамика черных дыр широко исследована для разнообразных черных дыр в различных контекстах (Kumar et al., 2023; Paul et al., 2023; Soroushfar et al., 2023; Paul et al., 2023; Mandal et al., 2023; Pourhassan et al., 2022; Myrzakulov et al., 2023; Upadhyay et al., 2023; Singh et al., 2022; Sudhanshu et al., 2022).

В данной работе представлен новый класс решений для регулярной черной дыры, который характеризуется параметрами массы, параметра отклонения и произвольного параметра. При отключении параметра отклонения данное решение совпадает с черной дырой Шварцшильда. В отличие от Шварцшильдовских решений, у этой черной дыры присутствуют два горизонта. Термодинамические параметры подвергаются изменениям из-за наличия экспоненциального множителя в массе. В рамках исследования также проводится анализ стабильности черной дыры, оценивается её теплоемкость и характеристики. Выявляется, что черная дыра переходит через фазовый переход второго порядка из состояния стабильности в состояние неустойчивости при достижении определенного критического значения радиуса горизонта.

Структура статьи организована следующим образом. Анализируем новое регулярное решение для черной дыры, которое обобщает черную дыру Шварцшильда в предельном случае, а также будем исследовать структуру горизонта черной дыры. Будем рассматривать тепловые свойства черной дыры, вычисляя её массу и температуру Хокинга. Заметим, что пиковое значение температуры возрастает с параметром отклонения и расходится при нулевом значении этого параметра. Исследуем стабильность черной дыры, анализируя сигнатуру теплоемкости.

В данном случае фазовый переход второго рода наступает при достижении критического значения. В завершение мы представляем наши результаты в последнем разделе.

Материалы и основные методы

В данной работе исследуется новый класс решений уравнения Эйнштейна, описывающий черные дыры и обобщающий решение для черной дыры Шварцшильда. Рассматривается обычная метрика черной дыры, использующая экспоненциальную функцию распределения (Balart et al., 2014), представленную как:

$$ds^2 = -f(r)dt^2 + \frac{1}{f(r)}dr^2 + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2), \quad (1)$$

где

$$f(r) = 1 - \frac{2M}{r} \left(\frac{2}{1 + e^{k/r}} \right)^b, \quad f(r) = 1 - \frac{2M}{r} \left(\frac{2}{1 + e^{\frac{k}{r}}} \right)^b \quad (2)$$

где k и M соответственно являются параметрами отклонения и массы. Метрика черной дыры зависит от произвольного параметра b , контролирующего регулярность и условие слабой энергии. Таким образом, решение для черной дыры характеризуется массой M , параметром отклонения k и параметром b , и сводится к решению для черной дыры Шварцшильда при $k = 0$ и $b = 1$.

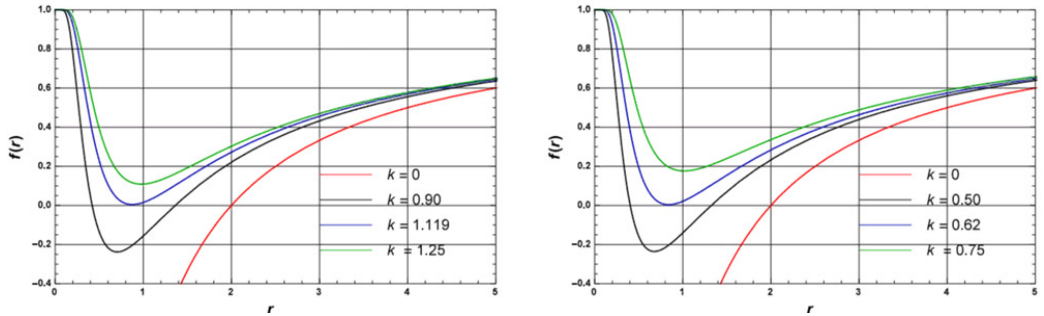


Рисунок - 1. График зависимости функции $f(r)$ от радиуса горизонта при различных значениях параметра отклонения k и фиксированной массе $M = 1$ при $b = 1$ (слева) и $b = 2$ (справа).

Анализ графика показывает, что решение имеет два горизонта для $k < 1.119$ (пороговое значение (k_c)), вырожденный горизонт для $k = 1.119$ (пороговое значение (k_c)) и отсутствие горизонта для $k > 1.119$ (пороговое значение (k_c)). Размер горизонта уменьшается с увеличением параметра отклонения k и параметра b .

Далее проводится анализ энергетических условий для решения (2). Условие слабой энергии предписывает, что $T_{\phi} t^a t^b \geq 0$ для всех времениподобных векторов t^a , то есть локальная плотность энергии не может быть отрицательной. Доминирующее энергетическое условие (DEC) утверждает, что $T_{\phi} t^a t^b \geq 0$ и $T^{\phi} t_b$ должно быть пространственно-подобным для любого времениподобного вектора t^a , следовательно, условие слабой энергии требует $\rho \geq 0$ и $\rho + P_i \geq 0$

$$\rho + P_2 = \rho + P_3 = \frac{Mbk^2 (be^{\frac{k}{r}} - 1)e^{\frac{k}{r}}}{r^5 \left(1 + e^{\frac{k}{r}}\right)^{b+2}} \quad (3)$$

Таким образом, черная дыра удовлетворяет условию слабой энергии при выключенном параметре b .

Масса черной дыры может быть выражена как $f(r_+) = 0$, где r_+ – радиус горизонта, и это представлено уравнением:

$$M_+ = \frac{r_+}{2} \left(\frac{1 + e^{\frac{k}{r_+}}}{2} \right)^b. \quad (4)$$

Выражение для массы (4) сводится к массе черной дыры $M_+ = r_+/2$ при $k = 0$.

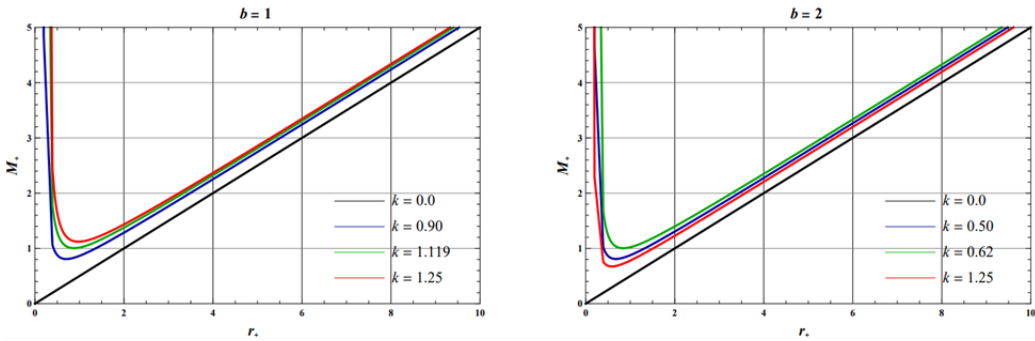


Рисунок – 2. График зависимости массы от радиуса горизонта r_+ для различных значений параметра отклонения k при фиксированной массе $M = 1$, где $b = 1$ (слева) и $b = 2$ (справа).

Температура черной дыры (температура Хокинга) связана с поверхностной гравитацией κ , $T = \frac{\kappa}{2\pi}$ выраженной как $T = \kappa/2\pi$. Тогда температура черной дыры вычисляется следующим образом:

$$T_+ = \frac{f'(r_+)}{4\pi} = \frac{r_+ - \frac{bke^{k/r_+}}{e^{k/r_+} + 1}}{4\pi r_+^2}. \quad (5)$$

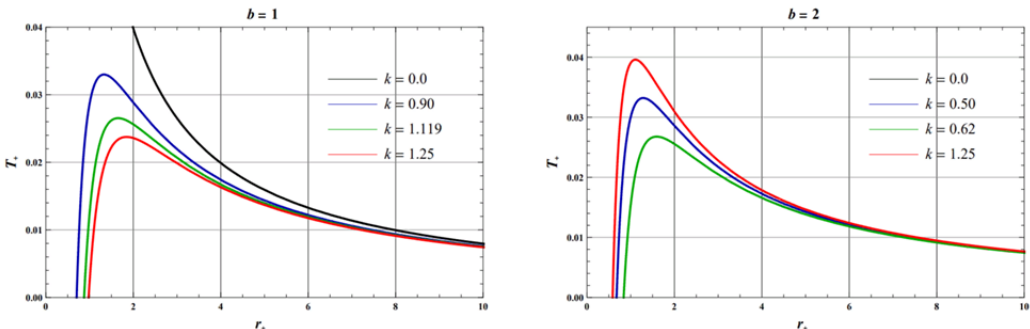


Рисунок – 3. График зависимости температуры от радиуса горизонта r_+ для различных значений параметра отклонения k при фиксированной массе $M = 1$, где $b = 1$ (слева) и $b = 2$ (справа).

Температура имеет пик, который увеличивается с параметром отклонения k , а при $k = 0$ она совпадает с температурой черной дыры Шварцшильда.

$$T_+ = \frac{1}{4\pi r_+}. \quad (6)$$

Результаты

Далее проводится анализ стабильности черной дыры, который осуществляется через изучение ее теплоемкости (C_+). Стабильность обозначается положительным значением $C_+ > 0$, в то время как отрицательное значение $C_+ < 0$ свидетельствует о нестабильности. Теплоемкость черной дыры определяется следующим образом (Chaturvedi et al., 2017):

$$C_+ = \frac{\partial M_+}{\partial T_+} = \left(\frac{\partial M_+}{\partial r_+} \right) \left(\frac{\partial r_+}{\partial T_+} \right) \quad (7)$$

Подставляя значения массы (4) и температуры (5) в (7), теплоемкость черной дыры выражается как:

$$C_+ = \frac{\pi 2^{1-b} r^3 \left(\frac{1}{e^{k/r} + 1} \right)^{-b-1} (-bke^{k/r} + e^{k/r} + r)}{r^2 (e^{k/r} + 1)^2 - bke^{k/r} (2r(e^{k/r} + 1) + k)}. \quad (8)$$

При $k = 0$ это соответствует случаю Шварцшильда, указывая на термодинамическую нестабильность черной дыры Шварцшильда.

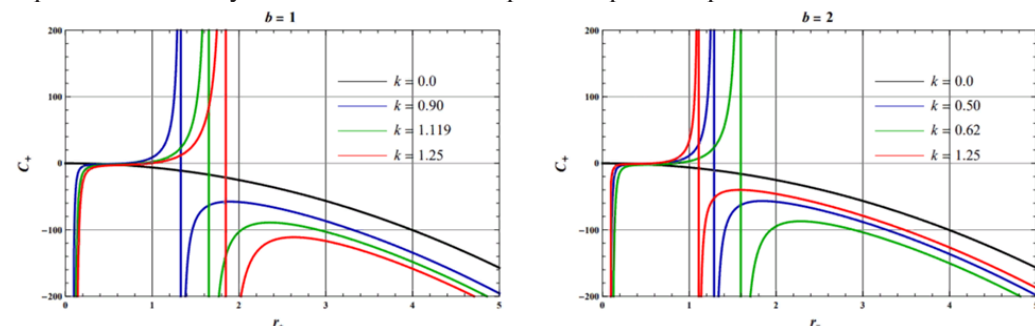


Рисунок – 4. График зависимости теплоемкости от радиуса горизонта r_+ для различных значений параметра отклонения k при фиксированной массе $M = 1$, где $b = 1$ (слева) и $b = 2$ (справа).

Теплоемкость черной дыры имеет два вида поведения: положительную теплоемкость при $r_+ > r_c$ (критическое значение), свидетельствуя о термодинамической стабильности, и отрицательную теплоемкость, указывающую

на нестабильность черной дыры. Скачкообразность теплоемкости происходит при $r_+ = r_c$, предшествуя фазовому переходу второго рода. Замечательно, что эта скачкообразность возникает при максимальной температуре Хокинга, сопровождаемой резким увеличением теплоемкости. Следовательно, происходит фазовый переход от менее массивной к более массивной конфигурации, что отражается в теплоемкости черной дыры.

Закключение

В данной статье исследуется обычное решение для черной дыры, которое сходится к черной дыре Шварцшильда в случае $k = 0$. Экспоненциальное дополнение $e^{\frac{k}{r}}$ вносится с учетом квантового аспекта и идентифицируется как функция распределения вероятностей. Новое решение для черной дыры отличается наличием двух горизонтов в отличие от одного у черной дыры Шварцшильда. Также проведено исследование термодинамических характеристик, таких как масса и температура, связанных с данной черной дырой. Анализ стабильности черных дыр осуществляется через расчет теплоемкости, приводящий к выявлению расходимости теплоемкости при значении, при котором температура Хокинга достигает максимума.

REFERENCES

- Ayon-Beato E., Garcia A. (1999). Non-Singular Charged Black Hole Solution for Non-Linear Source // *General Relativity and Gravitation*. — Vol. 31. — Pp. 629–633. DOI:10.1023/A:1026640911319 (in Eng.).
- Ayon-Beato E., Garcia A. (2005). Four-parametric regular black hole solution // *General Relativity and Gravitation*. — Vol. 37. — Pp. 635–641. DOI:10.1007/s10714-005-0050-y (in Eng.).
- Ayon-Beato E., Garcia A. (2000). The Bardeen model as a nonlinear magnetic monopole // *Physics Letters B*. — Vol. 493, No. 1–2. — Pp. 149–152. DOI:10.1016/S0370-2693(00)01125-4 (in Eng.).
- Bronnikov K.A. (2001). Regular magnetic black holes and monopoles from nonlinear electrodynamics // *Physical Review D*. — Vol. 63. — No.4. — P. 044005. DOI:10.1103/PhysRevD.63.044005 (in Eng.).
- Bardeen J. (1968). Non-singular general – relativistic gravitational collapse // *Proceedings of the International Conference GR5, Tbilisi, USSR*. — P. 174 (in Eng.).
- Balart L., Vagenas E.C. (2014). Regular black hole metrics and the weak energy condition // *Physics Letters B*. — Vol. 730. — Pp. 14–17. DOI:10.1016/j.physletb.2014.01.024 (in Eng.).
- Balart L., Vagenas E.C. (2014). Regular black holes with a nonlinear electrodynamics source // *Physical Review D*. — Vol. 90. — No. 12. — P. 124045. DOI:10.1103/physrevd.90.124045 (in Eng.).
- Bambi C., Modesto L. (2013). Rotating regular black holes // *Physics Letters B*. — Vol. 721. — No. 4–5. — Pp. 329–334. DOI:10.1016/j.physletb.2013.03.025 (in Eng.).
- Chaturvedi P., Singh N.K., Singh D.V. (2017). Reissner-Nordstrom metric in unimodular theory of gravity // *International Journal of Modern Physics D*. — Vol. 26. — No. 08. — P. 1750082. DOI:10.1142/s0218271817500821 (in Eng.).
- Fernando S. (2017). Bardeen-de Sitter black holes // *International Journal of Modern Physics D*. — Vol. 26. — No. 07. — P. 1750071. DOI:10.1142/s0218271817500717 (in Eng.).
- Gliner E.B. (1966). Algebraic Properties of the Energy–momentum Tensor and Vacuum–like States of Matter // *Soviet Physics Journal of Experimental and Theoretical Physics*. — Vol. 22. — Pp. 378–382 (in Eng.).
- Ghosh S.G., Singh D.V., Maharaj S.D. (2018). Regular black holes in Einstein-Gauss-Bonnet gravity // *Physical Review D*. — Vol. 97. — No. 10. — P. 104050. DOI:10.1103/physrevd.97.104050 (in Eng.).
- Ghosh S.G., Kumar A., Singh D.V. (2020). Anti-de Sitter Hayward black holes in Einstein-Gauss-Bonnet gravity // *Physics of the Dark Universe*. — Vol. 30. — P. 100660. DOI:10.1016/j.dark.2020.100660 (in Eng.).

- Ghosh S.G., Singh D.V., Kumar R., Maharaj S.D. (2021). Phase transition of AdS black holes in 4D EGB gravity coupled to nonlinear electrodynamics // *Annals of Physics*. — Vol. 424. — P. 168347. DOI:10.1016/j.aop.2020.168347 (in Eng.).
- Ghosh S.G. (2015). A nonsingular rotating black hole // *The European Physical Journal C*. — Vol. 75. — No. 11. — P. 532. DOI:10.1140/epjc/s10052-015-3740-y (in Eng.).
- Ghosh S.G., Maharaj S.D. (2015). Radiating Kerr-like regular black hole // *The European Physical Journal C*. — Vol. 75. — No. 1. — P. 7. DOI:10.1140/epjc/s10052-014-3222-7 (in Eng.).
- Kumar A., Singh D.V., Ghosh S.G. (2019). D-dimensional Bardeen-AdS black holes in Einstein-Gauss-Bonnet theory // *The European Physical Journal C*. — Vol. 79. — No. 3. — P. 275. DOI:10.1140/epjc/s10052-019-6773-9 (in Eng.).
- Kumar A., Singh D.V., Ghosh S.G. (2020). Hayward black holes in Einstein-Gauss-Bonnet gravity // *Annals of Physics*. — Vol. 419. — P. 168214. DOI:10.1016/j.aop.2020.168214 (in Eng.).
- Kumar J., Upadhyay S., Sudhanshu H.K. (2023). Small black string thermodynamics // *Physica Scripta*. — Vol. 98. — No. 9. — P. 095306. DOI:10.1088/1402-4896/aceec3 (in Eng.).
- Lemos J.P.S., Zanchin V.T. (2011). Regular black holes: Electrically charged solutions, Reissner-Nordström outside a de Sitter core // *Physical Review D*. — Vol. 83. — No. 12. — P. 124005. DOI:10.1103/physrevd.83.124005 (in Eng.).
- Mandal S., Upadhyay S., Myrzakulov Y., Yergaliyeva G. (2023). Shadow of the 5D Reissner-Nordström AdS black hole // *International Journal of Modern Physics A*. — Vol. 38. — No. 08. — P. 2350047. DOI:10.1142/S0217751X23500471 (in Eng.).
- Myrzakulov Y., Myrzakulov K., Sudhaker U., Singh D.V. (2023). Quasinormal modes and phase structure of regular AdS Einstein-Gauss-Bonnet black holes // *International Journal of Geometric Methods in Modern Physics*. — Vol. 20. — No. 07. — P. 2350121. DOI:10.1142/S0219887823501219 (in Eng.).
- Neves J.C.S., Saa A. (2014). Regular rotating black holes and the weak energy condition // *Physics Letters B*. — Vol. 734. — Pp. 44–48. DOI:10.1016/j.physletb.2014.05.026 (in Eng.).
- Toshmatov B., Ahmedov B., Abdurjabbarov A., Stuchlík Z. (2014). Rotating regular black hole solution // *Physical Review D*. — Vol. 89. — No. 10. — P. 104017. DOI:10.1103/physrevd.89.104017 (in Eng.).
- Paul P., Upadhyay S., Singh D.V. (2023). Charged AdS black holes in 4D Einstein-Gauss-Bonnet massive gravity // *The European Physical Journal Plus*. — Vol. 138. — P. 566. DOI:10.1140/epjp/s13360-023-04176-x (in Eng.).
- Paul P., Upadhyay S., Myrzakulov Y., Singh D.V., Myrzakulov K. (2023). More exact thermodynamics of nonlinear charged AdS black holes in 4D critical gravity // *Nuclear Physics B*. — Vol. 993. — P. 116259. DOI:10.1016/j.nuclphysb.2023.116259 (in Eng.).
- Pourhassan B., Dehghani M., Upadhyay S., Sakalli İ., Singh D.V. (2022). Exponential corrected thermodynamics of Born-Infeld BTZ black holes in massive gravity // *Modern Physics Letters A*. — Vol. 37. — No. 33n34. — P. 2250230. DOI:10.1142/S0217732322502303 (in Eng.).
- Sakharov A.D. (1966). The Initial Stage of an Expanding Universe and the Appearance of a Nonuniform Distribution of Matter / *Soviet Physics Journal of Experimental and Theoretical Physics*. — Vol. 22. — Pp. 241–249 (in Eng.).
- Singh D.V., Singh N.K. (2017). Anti-evaporation of Bardeen de-Sitter black holes // *Annals of Physics*. — Vol. 383. — P. 600–609. DOI:10.1016/j.aop.2017.06.009 (in Eng.).
- Singh D.V., Ghosh S.G., Maharaj S.D. (2020). Clouds of strings in 4D Einstein-Gauss-Bonnet black holes // *Physics of the Dark Universe*. — Vol. 30. — P. 100730. DOI:10.1016/j.dark.2020.100730 (in Eng.).
- Singh D.V., Siwach S. (2020). Thermodynamics and P - V criticality of Bardeen-AdS black hole in 4D Einstein-Gauss-Bonnet gravity // *Physics Letters B*. — Vol. 808. — P. 135658. DOI:10.1016/j.physletb.2020.135658 (in Eng.).
- Singh B.K., Singh R.P., Singh D.V. (2020). Extended phase space thermodynamics of Bardeen black hole in massive gravity // *The European Physical Journal Plus*. — Vol. 135. — No. 10. — P. 862. DOI:10.1140/epjp/s13360-020-00880-0 (in Eng.).
- Singh D.V., Shukla A., Upadhyay S. (2022). Quasinormal modes, shadow and thermodynamics of black holes coupled with nonlinear electrodynamics and cloud of strings // *Annals of Physics*. — Vol. 447. — No. 1. — P. 169157. DOI:10.1016/j.aop.2022.169157 (in Eng.).
- Sudhanshu H.K., Upadhyay S., Singh D.V., Kumar S. (2022). Corrected Thermodynamics of $(2+1)D$ Black Hole Conformally Coupled to a Massless Scalar // *International Journal of Theoretical Physics*. — Vol. 61. — P. 248. DOI:10.1007/s10773-022-05231-6 (in Eng.).
- Soroushfar S., Farahani H., Upadhyay S. (2023). Non-perturbative correction to thermodynamics of

conformally dressed 3D black hole // *Physics of the Dark Universe*. — Vol. 42. — P. 101272. DOI:10.1016/j.dark.2023.101272 (in Eng.).

Xiang L., Ling Y., Shen Y.G. (2013). Singularities and the finale of black hole evaporation // *International Journal of Modern Physics D*. — Vol. 22. — No. 12. — P. 1342016. DOI:10.1142/s0218271813420169 (in Eng.).

Upadhyay S., Mandal S., Myrzakulov Y., Myrzakulov K. (2023). Weak deflection angle, greybody bound and shadow for charged massive BTZ black hole // *Annals of Physics*. — Vol. 450. — P. 169242. DOI:10.1016/j.aop.2023.169242 (in Eng.).

Zaslavskii O.B. (2009). Regular black holes with flux tube core // *Physical Review D*. — Vol. 80. — No. 6. — P. 064034. DOI:10.1103/physrevd.80.064034 (in Eng.).

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева РУТНОН ПАЙДАЛАНУ АРҚЫЛЫ ФИЗИКАЛЫҚ ҚҰБЫЛЫСТАРДЫ МОДЕЛЬДЕУ.....	7
Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Тоқтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова Q-МЕТРИКА ҚИСЫҚТЫҒЫНЫҢ МЕНШІКТІ МӘНДЕРІ.....	17
Г. Бекетова, Н. Жантурина*, З. Аймаганбетова, А. Бекешев ЦЕЗИЙГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ҚОСАРЛАНҒАН ГАЛОИДТЫ ПЕРОВСКИТТЕРДІҢ ОПТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ.....	31
С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин ЖАЛПЫ БӨЛІМДЕРІ ЖӘНЕ ПРОЦЕСС ҚАРҚЫМЫ $n^{12}C$	43
А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова ГИБРИДТІ КҮН КОЛЛЕКТОРЫНДА ҚОЛДАНУҒА АРНАЛҒАН БИДИСТИЛЬДЕНГЕН СУ НЕГІЗІНДЕГІ TiO_2/Al_2O_3 ГИБРИДТІ НАНОСҰЙЫҚТЫҢ ТҮТҚЫРЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЗЕРТТЕУ.....	52
А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов СИРЕК ЖЕР МЕТАЛДАРЫН НЕГІЗІНДЕГІ ФОТОСЕЗІМТАЛ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ ЖАСАУ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ.....	63
Е.Т. Кожажулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Үсіпов, К.Т. Көпбай АҚПАРАТТЫҚ ЭНТРОПИЯНЫҢ НЕГІЗІНДЕ САНДЫҚ МОДУЛЯЦИЯНЫ АНЫҚТАУ.....	73
Е.М. Мырзакулов, А.С. Бұланбаева ҚАРА ҚҰРДЫМ ШЕШІМДЕРІ ЖӘНЕ ОНЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАСЫ.....	84
Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Ғазизова ШАҒЫН ЖҰЛДЫЗДАРДАҒЫ ЭНЕРГИЯ КӨЗДЕРІ.....	95
А. Серебрянский, А. Халикова МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНЫП ШОЛУ ЖӘНЕ МОНИТОРИНГТІ ФОТОМЕТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРЫНАН АЙНЫМАЛЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫ ІЗДЕУ.....	103

ХИМИЯ

Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Жұмаділлаева, М.О. Алтынбекова ҚЫШҚЫЛ ОРТАДА ВИСМУТ ЭЛЕКТРОДЫНЫҢ ЭЛЕКТРОХИМИЯЛЫҚ ҚАСИЕТІНЕ АЙНЫМАЛЫ ТОКТЫҢ ЖИЛПІ МЕН ТЫҒЫЗДЫҒЫНЫҢ ӘСЕРІ.....	116
Е.Г. Гилязов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот ТІКЕЛЕЙ АЙДАУДАН АЛЫНҒАН БЕНЗИННІҢ ОКТАН САНЫН АРТТЫРАТЫН ОКСИГЕНАТТАРДЫҢ ТИІМДІЛІГІ.....	127

Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай ХИМИЯ САБАҚТАРЫНДА ЭЛЕКТРОНДЫҚ БІЛІМ РЕСУРСТАРЫН, ОЙЫН ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНЫП ОҚУШЫЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІН ЖИЫНТЫҚ БАҒАЛАУ.....	140
Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О. Абилкасова АЛМАТЫ ҚАЛАСЫНЫҢ СУ РЕСУРСТАРЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ЗАТТАРМЕН ЛАСТАНУ ДЕҢГЕЙІН ЗЕРТТЕУ.....	152
Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов ҮЙІНДІ КЕНДЕРДЕН МЫС АЛУДЫ БИОХИМИЯЛЫҚ ЖӘНЕ ХИМИЯЛЫҚ ТОТЫҚТЫРУ ӘДІСТЕРІМЕН ОҢТАЙЛАНДЫРУ.....	167
Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева БЕЛСЕНДІ АГЕНТТЕРДІ ЖЕТКІЗУ ҮШІН МИКРОКАПСУЛЯЦИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ҚОЛДАНУДЫҢ АРТЫҚШЫЛЫҚТАРЫ МЕН ПОЦЕНЦИАЛЫ: ШОЛУ.....	183
Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурызкулова NI-RU ҚҰРАМДЫ КҮРДЕЛІ ОКСИДТЕРГЕ НЕГІЗДЕЛГЕН КОМПОЗИТТЕР ҚҰРАМЫН ЭНЕРГОДИСПЕРСТІ СПЕКТРОСКОПИЯ ӘДІСІМЕН САНДЫҚ ХИМИЯЛЫҚ ТАЛДАУ.....	198
С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова ӨРТҮРЛІ СҮЙЫЛТУЛАРДАҒЫ АФС ЕРІТІНДІЛЕРІНДЕГІ ФИЗИКА- ХИМИЯЛЫҚ ТЕПЕ-ТЕНДІКТІ ЗЕРТТЕУ.....	209
А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева ХИМИЯ ПӘНІНЕН ОҚУ-ӘДІСТЕМЕЛІК КЕШЕН ҚҰРАСТЫРУДЫҢ ҒЫЛЫМИ ПЕДАГОГИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ.....	228
С.Д. Фазылов, О.А. Нұркенов, Ж.С. Нұрмағанбетов, Р.Е. Бәкірова, М.Ж. Жұрынов ЦИКЛОДЕКСТРИНДЕР ХИМИЯЛЫҚ ҚОСЫЛЫСТАРДЫҢ СУПРАМОЛЕКУЛАЛЫҚ КОНТЕЙНЕРЛЕРІ РЕТІНДЕ.....	241

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА

М.Б. Альбатырова, А.Ж. Алибек, А.С. Жетписбаева МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ PYTON.....	7
Н. Бейсен, Э. Кеведо, С. Токтарбай, М. Жакипова, М. Алимкулова СОБСТВЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ КРИВИЗНЫ Q-МЕТРИКИ.....	17
Г. Бекетова, Н. Жантурина, З. Аймаганбетова, А. Бекешев ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДВОЙНЫХ ГАЛОИДНЫХ ПЕРОВСКИТОВ НА ОСНОВЕ ЦЕЗИЯ.....	31
С.Б. Дубовиченко, Н.А. Буркова, А.С. Ткаченко, Д.М. Зазулин ПОЛНЫЕ СЕЧЕНИЯ И СКОРОСТЬ РАДИАЦИОННОГО $n^{12}\text{C}$ ЗАХВАТА.....	43
А. Касымов, А. Адылканова, А. Бектемисов, К. Астемесова, Г. Турлыбекова ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ СВОЙСТВ ГИБРИДНОЙ НАНОЖИДКОСТИ $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ НА ОСНОВЕ БИДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ГИБРИДНОМ СОЛНЕЧНОМ КОЛЛЕКТОРЕ.....	52
А.Е. Кемелбекова, Д.М. Мухамедшина, К.А. Мить, Р.С. Мендыханов, К.К. Елемесов СОЗДАТЬ И ИССЛЕДОВАТЬ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	63
Е.Т. Кожугулов, Д.М. Жексебай, С.А. Сарманбетов, Н.М. Усипов, К.Т. Копбай ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЭНТРОПИИ.....	73
Е.М. Мырзакулов, А.С. Буланбаева РЕШЕНИЯ РЕГУЛЯРНОЙ ЧЕРНОЙ ДЫРЫ И ИХ ТЕРМОДИНАМИКА.....	84
Д.М. Насирова, В.О. Курмангалиева, А.А. Газизова ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ В КОМПАКТНЫХ ЗВЕЗДАХ.....	95
А. Серебрянский, А. Халикова ПОИСК ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД В МОНИТОРИНГОВЫХ И ОБЗОРНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ.....	103

ХИМИЯ

Б.С. Абжалов, А.Б. Башов, А.К. Мамырбекова, С.А. Джумадуллаева, М.О. Алтынбекова ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ И ПЛОТНОСТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ ВИСМУТОВОГО ЭЛЕКТРОДА В КИСЛОЙ СРЕДЕ.....	116
Е.Г. Гиладжов, Д.К. Кулбатыров, М.Д. Уразгалиева, К.Р. Мақсот ЭФФЕКТИВНОСТИ ОКСИГЕНАТОВ НА ПОВЫШЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА ПРЯМОГОННОГО БЕНЗИНА.....	127

Д.Ж. Калиманова, А.К. Мендигалиева, А.Б. Медетова, О.С. Сембай СУММАТИВНОЕ ОЦЕНИВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ УЧАЩИХСЯ НА УРОКАХ ХИМИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ, ИГРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	140
Л.М. Калимолдина, Г.С. Султангазиева, С.О.Абилкасова ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ГОРОДА АЛМАТЫ.....	152
Б.К. Кенжалиев, А.К. Койжанова, М.Б. Ерденова, Д.Р. Магомедов, К.М. Смаилов ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МЕДИ ИЗ ОТВАЛЬНЫХ РУД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИОХИМИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОКИСЛЕНИЯ.....	167
Г.М. Мадыбекова, Т.Т. Туребаева, Б.Ж. Муталиева, Д.М. Лесбекова, А.Б. Исаева ПРЕИМУЩЕСТВА И ПОТЕНЦИАЛ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ МИКРОКАПСУЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ДОСТАВКИ АКТИВНЫХ АГЕНТОВ: ОБЗ ОР.....	183
Б.К. Масалимова, Б. Джанекова, С.М. Наурзкулова КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОСТАВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ NI-RU – СОДЕРЖАЩИХ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ МЕТОДОМ ЭНЕРГОДИСПЕРСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ.....	198
С. Тұрғанбай, А.И. Ильин, Д.А. Аскарова, А.Б. Джумагазиева, З.С. Ашимханова ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ РАВНОВЕСИЙ В РАСТВОРАХ АФС ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАЗВЕДЕНИЯХ.....	209
А.М. Усербаева, Р.Г. Рыскалиева НАУЧНО – ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОСТАВЛЕНИЯ УЧЕБНО- МЕТОДИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ПО ХИМИИ.....	228
С.Д. Фазылов, О.А. Нуркенов, Ж.С. Нурмаганбетов, Р.Е. Бакирова, М.Ж. Журинов ЦИКЛОДЕКСТРИНЫ КАК СУПРАМОЛЕКУЛЯРНЫЕ КОНТЕЙНЕРЫ ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	241

CONTENTS

PHYSICAL

M.B. Albatyrova, A.Zh. Alibek, A.S. Zhetpisbayeva
MODELING PHYSICAL PHENOMENA USING PYTHON.....7

N. Beissen, H. Quevedo, S. Toktarbay, M. Zhakipova, M. Alimkulova
CURVATURE EIGENVALUES OF THE Q-METRIC.....17

G. Beketova, N. Zhanturina, Z. Aimaganbetova, A. Bekeshev
OPTICAL PROPERTIES OF DOUBLE HALIDE PEROVSKITES BASED ON CESIUM.....31

S.B. Dubovichenko, N.A. Burkova, A.S. Tkachenko, D.M. Zazulin
TOTAL CROSS-SECTIONS AND RATE OF $n^{12}\text{C}$ RADIATIVE CAPTURE.....43

A. Kassymov, A. Adylkanova, A. Bektemissov, K. Astemessova, G. Turlybekova
INVESTIGATION OF VISCOSITY PROPERTIES OF $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ HYBRID NANOFUID BASED ON BIDISTILLED WATER FOR USE IN A HYBRID SOLAR COLLECTOR.....52

A.E. Kemelbekova, D.M. Mukhamedshina, K.A. Mit', R.S. Mendykanov, A.K. Shongalova
CREATING AND RESEARCH ON PHOTSENSITIVE STRUCTURES USING RARE EARTH METALS.....63

Y.T. Kozhagulov, D.M. Zhexebay, S.A. Sarmanbetov, N.M. Ussipov, K.T. Kopbay
IDENTIFICATION OF DIGITAL MODULATION BASED ON INFORMATIONAL ENTROPY.....73

Y. Myrzakulov, A. Bulanbayeva
A REGULAR BLACK HOLE SOLUTIONS AND THEIR THERMODYNAMICS.....84

D.M. Nassirova, V.O. Kurmangaliyeva, A.A. Gazizova
SOURCES OF ENERGY IN COMPACT STARS.....95

A. Serebryanskiy, A. Khalikova
SEARCH FOR VARIABLE STARS IN MONITORING AND SURVEY PHOTOMETRIC OBSERVATIONS USING MACHINE LEARNING METHODS.....103

CHEMISTRY

B.S. Abzhalov, A.B. Bayeshov, A.K. Mamyrbekova, S.A. Dzhumadullayeva, M.O. Altynbekova
INFLUENCE OF AC FREQUENCY AND DENSITY ON THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF BISMUTH ELECTRODE IN AN ACID MEDIUM.....116

Y.G. Gilazhov, D.K. Kulbatyrov, M.D. Urazgalieva, K.R. Maksot
EFFICIENCY OF OXYGENATES ON INCREASE OF OCTANE NUMBER OF STRAIGHT-RUN GASOLINE.....127

D. Zh. Kalimanova, A. K. Mendigaliyeva, A.B. Medetova, O.S. Sembay
SUMMATIVE ASSESSMENT OF STUDENTS' RESULTS IN CHEMISTRY LESSONS USING ELECTRONIC EDUCATIONAL RESOURCES, GAME

TECHNOLOGIES.....	140
L.M. Kalimoldina, G.S. Sultangazieva, S.O. Abilkasova STUDY OF CHEMICAL POLLUTION LEVEL IN WATER RESOURCES OF ALMATY CITY.....	152
B.K. Kenzhaliev, A.K. Koizhanova, M.B. Yerdenova, D.R. Magomedov, K.M. Smailov OPTIMIZATION OF COPPER EXTRACTION FROM WASTE ORES USING BIOCHEMICAL AND CHEMICAL OXIDATION METHODS.....	167
G.M. Madybekova, T.T. Turebayeva, B.Zh. Mutaliev, D.M. Lesbekova, A.B. Issayeva ADVANTAGES AND POTENTIAL OF USING MICROCAPSULATION METHODS FOR DELIVERY OF ACTIVE AGENTS: A REVIEW.....	183
B.K. Massalimova, B. Janekova, S.M. Naurzkulova QUANTITATIVE CHEMICAL ANALYSIS OF THE COMPOSITION OF COMPOSITES BASED ON NI-RU-CONTAINING COMPLEX OXIDES BY ENERGY-DISPERSED SPECTROSCOPY.....	198
S. Turganbay, A.I. Ilin, D. Askarova, A.B. Jumagaziyeva, Z. Ashimkhanova STUDY OF PHYSICOCHEMICAL EQUILIBRIA IN API SOLUTIONS AT DIFFERENT DILUTIONS.....	209
A.M. Userbayeva, R.G. Ryskaliyeva SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL FOUNDATIONS OF THE PREPARATION OF AN EDUCATIONAL AND METHODOLOGICAL COMPLEX IN CHEMISTRY.....	228
S.D. Fazylov, O.A. Nurkenov, Zh.S. Nurmaganbetov, R.E. Bakirova, M.J. Jurinov CYCLODEXTRINS AS SUPRAMOLECULAR CONTAINERS OF CHEMICAL COMPOUNDS.....	241

Publication Ethics and Publication Malpractice in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct (http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf). To verify originality, your article may be checked by the originality detection service Cross Check <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www:nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

ISSN 2518-1483 (Online), ISSN 2224-5227 (Print)

<http://reports-science.kz/index.php/en/archive>

Подписано в печать 15.06.2024.

Формат 60x88^{1/8}. Бумага офсетная. Печать - ризограф.

19,0 п.л. Тираж 300. Заказ 2.